

Problematika zbrinjavanja i pročišćavanja otpadnih voda - zakonski propisi

Ksenija Višić, dipl.ing.
Izv.prof. **Branka Vojnović**, dipl.ing.
Prof.dr.sc. **Tanja Pušić**, dipl.ing.
Sveučilište u Zagrebu Tekstilno-tehnološki fakultet
e-mail: ksenija.visic@gmail.com
Prispjelo 14.1.2015.

UDK 677.01:628.3
Pregled

U radu su istaknuti zakonski propisi, pravilnici i uredbe koji su izravno povezani s otpadnim vodama, a ujedno obuhvaćaju ekološki, humano-ekološki i tehnološki aspekt. Problematika otpadnih voda tekstilne industrije razmatra se s više aspekata kroz cijeli rad. Dodatno je istaknut primjer dobre prakse u pročišćavanju otpadne vode praonice rublja u Hrvatskoj.

ključne riječi: industrijska otpadna voda, tekstil, praonica rublja, pročišćavanje voda, zakonski propisi

1. Uvod

Strateški cilj upravljanja vodama i njihovom zaštitom je izrada planskih dokumenata za upravljanje i gospodarenje vodama, te intenzivno građenje i rekonstrukcija sustava javne odvodnje, postavljanje visokih zahtjeva za tehnologijama i postupcima pročišćavanja otpadnih voda polazeći od koncepcije održivog razvoja [1]. Voda je jedan od najvažnijih resursa za život na Zemlji. Zaštita postojećih vodnih zaliha te poboljšanje postojećih, već onečišćenih voda je bitan uvjet razvoja i opstanka ljudske zajednice. Pristup kvalitetnoj vodi od osobitog je značenja za ljudsko zdravlje i stoga je važno održavati kvalitetu svih vodenih ekosustava. Kvaliteta vode prati se kroz određene pokazatelje, a ispitivanje kvalitete voda provode kvalificirani laboratoriji.

Otpadna voda industrijskih postrojenja je u većini slučajeva opterećena visokim sadržajem tvari organskog

i/ili anorganskog podrijetla, različitim mineralima i metalima, a vrlo često i toksičnim i/ili kancerogenim tvarima. Koncentracije onečišćenja se prije ispuštanja u okoliš moraju svesti na maksimalno dozvoljene vrijednosti koje su propisane zakonom.

Projektiranje i građenje sustava odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda u Hrvatskoj temelji se na pravnim normama - zakonskim i podzakonskim aktima (uredbama, pravilnicima, planovima). Hrvatska kao kandidat za članstvo u Europskoj uniji 2004. godine, te država članica 2013. godine, preuzela je obvezu vodnogospodarske suradnje s Europskom komisijom i državama članicama i potpunog usklađenja vodnog zakonodavstva s pravnom stečevinom Europske unije.

2. Zakonski propisi

Prirodni vodni resursi neophodni su za razvoj i ekonomski napredak, a njihova zaštita pripada u nacionalne

prioritete. Cjelokupno područje voda pravno je uređeno *Zakonom o vodama* [2], kojim se uređuje pravni status voda i vodnog dobra, način i uvjeti upravljanja vodama, organiziranja i obavljanja poslova i zadataka kojima se ostvaruje upravljanje vodama; osnovni uvjeti za obavljanje djelatnosti vodnoga gospodarstva; ovlasti i dužnosti tijela državne uprave i drugih državnih subjekata, te druga pitanja značajna za upravljanje vodama [2]. Financiranje vodnoga gospodarstva uređeno je *Zakonom o financiranju vodnoga gospodarstva* [3]. Osim tih dvaju zakona, pojedinačne odredbe o vodama nalaze se i u zakonima kojima se uređuju druga pravna područja: *Zakon o zaštiti okoliša* [4], čije se pojedine odredbe odnose na vode kao bitni dio okoliša, *Zakon o zaštiti prirode* [5], koji se bavi zaštitom vodenih i kopnenih ekosustava i bioraznolikosti, *Zakon o zaštiti od elementarnih nepogoda* [6], koji se odnosi i na poplave, erozijske nepogode i nagomilavanje leda na vodo-

tocima, *Zakon o komunalnom gospodarstvu* [7], koji sadrži odredbe o komunalnim djelatnostima opskrbe pitkom vodom i odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda. U procesu planiranja treba uvažavati i djelokrug nadležnosti koje su utvrđene *Zakonom o prostornom uređenju i gradnji* [8], *Zakonom o šumama* [9], *Zakonom o poljoprivrednom zemljištu* [10], *Zakonom o izvlaštenju i određivanju naknade* [11], *Zakonom o slatkovodnom ribarstvu* [12], *Zakonom o energiji* [13] i drugim zakonima.

Prema *Zakonu o vodama*, vode su opće dobro, koje zbog svojih prirodnih svojstava ne može biti ni u čijem vlasništvu. Pravo na zahvaćanje vode radi iskorištavanja za različite namjene stječe se na temelju koncesije. Iznimka od toga jest pravo opće uporabe voda za sve površinske i podzemne kopnene vode, uključujući mineralne i termalne vode koje se iskorištavaju za piće, liječenje i rekreaciju. Osim kopnenih voda, na koje se *Zakon* odnosi u cijelosti, njegove se odredbe, u pojedinim izričito navedenim slučajevima, primjenjuju i na područje mora i morske obale. Novim zakonskim rješenjem uveden je jedinstveni sustav voda koji čine vode I. reda (međudržavne vode, priobalne vode, druge veće vode i kanali, te bujične vode veće snage) i II. reda (ostale površinske vode) [2, 14]. Prema odredbama *Zakona o vodama* Republika Hrvatska je u svrhu upravljanja vodama podijeljena na četiri vodna područja:

- 1) vodno područje sliva Save,
- 2) vodno područje slivova Drave i Dunava,
- 3) vodno područje primorsko-istarskih slivova i
- 4) vodno područje dalmatinskih slivova.

Na području države organizirana su 34 slivna područja, kojima upravljaju 32 vodnogospodarske ispostave i Vodnogospodarski odjel za slivno područje Grada Zagreba Hrvatskih voda [2].

Zakonski propisi u području zaštite okoliša su strogi i ubuduće će se sve više kontrolirati njihova primjena pa je nužno osigurati minimalno ispuštanje štetnih tvari u okoliš [4, 15].

U nekim djelatnostima EU odredbe su u cijelosti prenešene u nacionalno zakonodavstvo, npr. *Pravilnik o deterdžentima* [16] preko Uredbe Europskoga parlamenta br. 648/2004 i Vijeća o deterdžentima i Uredbe Komisije br. 551/2009 o izmjenama i dopunama Uredbe br. 648/2004, s ciljem prilagodbe njenih Priloga V. i VI. (izuzeće tenzida). Deterdženti i površinski aktivne tvari mogu se staviti na tržište samo ako su sukladni uvjetima, svojstvima i ograničenjima utvrđenim dokumentom *Nacionalne strategije kemijske sigurnosti* [17]. Ministarstvo zdravlja, Uprava za stacionarnu zdravstvenu zaštitu i inspeksijske poslove nadležno je tijelo za provedbu zakona i upravnog postupka, dok je Sanitarna inspekcija nadležna za nadzor nad predmetima opće uporabe i deterdženata u Republici Hrvatskoj. U okviru nadzora, za dio koji se odnosi na kontrolu deklaracije, prema *Zakonu o predmetima opće uporabe* [18], nadležna je gospodarska inspekcija. Ovaj *Zakon* predstavlja važan korak unapređenju zaštite ljudskog zdravlja od štetnih učinaka kemikalija u predmetima opće uporabe, te posebno u usklađenju s propisima Europske unije. Inspekcija zaštite okoliša, pri Ministarstvu zaštite okoliša, prostornog uređenja i graditeljstva, nadležna je za svojstva biorazgradljivosti.

2.1. Pokazatelji kakvoće industrijskih otpadnih voda

Navode se samo najvažnije odredbe iz prethodno navedene regulative, vezane uz određivanje potrebnog stupnja pročišćavanja i načina ispuštanja otpadnih voda.

Pokazatelji kakvoće industrijskih otpadnih voda koje se ispuštaju u sustav javne odvodnje ili u površinske vodotokove te njihove granične vrijednosti u Hrvatskoj su propisani *Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* [19].

Odredbe *Pravilnika o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda iz objekata i postrojenja za proizvodnju i preradu tekstila* odnose se na objekte i postrojenja iz kojih se ispuštaju tehnološke otpadne vode nastale tijekom proizvodnje i prerade tekstila, a odnose se na sljedeće izvore onečišćenja:

- izrade i prerada pređa i prediva,
- bijeljenje, mercerizacija ili alkalne obrade tekstila,
- bojadisanje tekstila,
- tisak tekstila,
- plastificiranje ili kaširanje tekstila,
- apretiranje tekstila,
- čišćenje i pranje vlakana u svim oblicima,
- pranje sirove vune,
- grafičke i fotografske procese i obrade kovinskih površina pri proizvodnji valjaka za tisak tekstila i šablona,
- kemijsko čišćenje tekstila, ako se za čišćenje koriste halogena organska otapala.

U tab.1 su za pojedine pokazatelje kakvoće voda prikazane njihove granične vrijednosti, odnosno dozvoljene koncentracije nekih opasnih i drugih tvari u tehnološkim otpadnim vodama, koje se ispuštaju u površinske vode ili u sustav javne odvodnje te norme koje propisuju odgovarajuću metodu određivanja tih parametara [19].

Prema odredbama dozvoljava se ispuštanje pročišćenih otpadnih voda u površinske vodotokove (rijeke, potoci, melioracijski kanali) i mora. Potreban stupanj pročišćavanja ovisi u prvom redu o propisanoj kategoriji prijavnika (vodotoka) u koji se ispuštaju pročišćene otpadne vode te o veličini uređaja za pročišćavanje. Prema zakonskoj regulativi, u "osjetljivim" i "manje osjetljivim" područjima dopušteno je ispuštanje otpadnih voda uz postizanje odgovarajućeg stupnja pročišćavanja. Potreban stupanj pročišćavanja otpadnih voda definiran je *Strategijom upravljanja vodama* [1] i *Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda* [19]. Regula-

Tab.1 Granične vrijednosti nekih pokazatelja kakvoće tehnološke otapadne vode [19]

Pokazatelji	Jedinica	Ispust: površinske vode	Ispust: sustav javne odvodnje
<i>Fizikalno-kemijski</i>			
Temperatura	°C	30	40
pH-vrijednost		6,5 – 9,0	6,5 – 9,5
Suspendirane tvari	mg/l	80	(a)
Taložive tvari	ml/lh	0,5	10
Boja (obojenost)		bez	bez
<i>Ekotoksikološki</i>			
Toksičnost na dafnije	LID _D faktor razrjeđenja*	3	-
Toksičnost na svjetleće bakterije	LID _L faktor razrjeđenja*	4	-
<i>Organski</i>			
Ukupni organski ugljik (TOC)	mg C /l	30	-
Kemijska potrošnja kisika (KPK)	mg O ₂ /l	125	sukladno članku 5. Pravilnika
Biološka potrošnja kisika (BPK ₅)	mg O ₂ /l	25	sukladno članku 5. Pravilnika
Ukupni ugljikovodici	mg/l	10	30
Adsorbilni organski halogeni (AOX)	mg Cl /l	0,5	0,5
Lakohlapljivi klorirani ugljikovodici	mg Cl /l	0,1	1,0
Fenoli	mg/l	0,1	10
Zbroj anionskih i neionskih deterdženata	mg/l	1,0	10
<i>Anorganski</i>			
Aluminij	mg Al /l	3,0	-
Bakar	mg Cu /l	1,0	1,0
Cink	mg Zn /l	3,0	3,0
Kadmij	mg Cd /l	0,1	0,1
Kobalt	mg Co /l	0,5	0,5
Kositar	mg Sn /l	1,0	1,0
Ukupni krom	mg Cr /l	0,5	1,0
Krom VI	mg Cr /l	0,1	0,1
Olovo	mg Pb /l	0,5	0,5
Klor slobodni	mg Cl /l	0,2	0,5
Ukupni klor	mg Cl /l	0,5	1,0
Amonij	mg N /l	5,0	-
Ukupni fosfor	mg P /l	1,0	sukladno članku 5. Pravilnika
Sulfati	mg SO ₄ /l	1000	-
Sulfidi	mg S /l	0,5	1,0
Sulfiti	mg SO ₃ /l	1,0	10

*LID_D, LID_L – najmanje razrjeđenje otpadne vode koje nema učinka na test organizme; određuje se najmanje četiri puta godišnje; Toksičnost na dafnije određuje se u ispustu otpadne vode u kopnene vode, a toksičnost na svjetleće bakterije u ispustu u priobalne vode

tivom je definirano je potreban stupanj pročišćavanja u ovisnosti o osjetljivosti područja (kategorizaciji vodotoka) i veličini aglomeracija, odnosno kapaciteta promatranog sustava, tab.2.

Nazivlje osnovnih pojmova također je definirano u navedenoj regulativi, te se ovdje izdvajaju osnovni pojmovi:

- stupanj pročišćavanja - primjena fizikalnih i/ili kemijskih postupaka čišćenja otpadnih voda, kojima se iz vode uklanja najmanje 50 %

suspendiranih tvari, a vrijednost BPK₅ smanjuje barem 20 % od ulazne vode.

- stupanj pročišćavanja - primjena bioloških i/ili drugih postupaka čišćenja, kojima se u otpadnim vodama smanjuje koncentracija suspendirane tvari i BPK₅ ulazne vode za 70 do 90 %, a KPK za najmanje 75 %.
- stupanj pročišćavanja - primjena fizikalno-kemijskih, bioloških i drugih postupaka, kojima se u otpadnim vodama smanjuju kon-

centracije hranjivih tvari ulazne vode za najmanje 80 %, odnosno uklanjaju i drugi osebujni pokazatelji otpadnih tvari, u vrijednostima koje nije moguće postići primjenom drugoga stupnja čišćenja.

Odgovarajuće pročišćavanje otpadnih voda znači obradu otpadnih voda bilo kojim procesom, koje nakon ispuštanja ne narušavaju dobro stanje vode u prijamniku.

Industrijski pogoni koji su priključeni na sustave javne odvodnje, u pravilu, imaju izgrađene uređaje za

Tab.2 Određivanje potrebnog stupnja pročišćavanja otpadnih voda [20]

ES	2 000 - 10 000	10 000 - 15 000	15 000 - 150 000	>150 000
osjetljivo područje	I. stupanj (ili odgovarajuće*) pročišćavanja	III. stupanj pročišćavanja	III. stupanj pročišćavanja	III. stupanj pročišćavanja
normalno područje	II. stupanj (ili odgovarajuće*) pročišćavanja	II. stupanj pročišćavanja	II. stupanj pročišćavanja	II. stupanj pročišćavanja
manje osjetljivo područje	odgovarajuće pročišćavanje	I. stupanj ili II. stupanj pročišćavanje	II. stupanj pročišćavanja	II. stupanj pročišćavanja

ES - ekvivalent stanovnika jest potrošnja vode od 200 litara na dan po stanovniku,
* - priobalna područja

prethodno pročišćavanje otpadnih voda, čime se kakvoća industrijskih otpadnih voda svodi na razinu kakvoće komunalnih otpadnih voda. Prikupljene komunalne otpadne vode i dijelom pročišćene industrijske otpadne vode zatim se zajednički čiste na komunalnim uređajima.

Korisnik javnog odvodnog sustava koji ima vodopravnu dozvolu dužan je prema Pravilniku provoditi redovne fizikalne, mikrobiološke i kemijske analize otpadnih voda, te o rezultatima analize i količinama otpadnih voda voditi očevidnik. U slučaju stavljanja u promet kemikalija, korisnici su dužni Hrvatskim vodama redovito dostavljati podatke o proizvodnji odnosno uvozu kemikalija koje nakon uporabe dospijevaju u vode. Pravilnikom o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda i zakonom o vodama uređuje se metodologija uzorkovanja i ispitivanja sastava otpadnih voda, učestalost uzorkovanja i ispitivanja, obrazac očevidnika ispuštenih otpadnih voda, njegov oblik i način vođenja, rokovi i oblici dostavljanja podataka. Hrvatskim vodama potrebno je redovito dostavljati podatke o uzorkovanju i ispitivanju sastava ispuštenih otpadnih voda.

Ako ne postoji mjerni uređaj, protokol se procjenjuje u odnosu na količinu utrošene vode, a u zapisnik se upisuje visina vode u kontrolnom oknu.

Loše uzorkovanje rezultira najvećom pogreškom analitičkog mjernog sustava pa najveću pozornost treba posvetiti uzorkovanju. Uzorak mora biti

reprezentativan, što znači da mora sadržavati sva bitna obilježja cjeline iz koje je uzet [21]. Važnost pravilnog uzorkovanja svih vrsta voda ističe cijeli normni niz (EN) ISO 5667.

Rezultati analiza koriste se za obračun naknade za zaštitu voda. Korisnici koji su spojeni na sustav javne odvodnje plaćaju naknadu za korištenje sustava javne odvodnje, a korisnici čije otpadne vode dolaze na uređaj za pročišćavanje plaćaju naknadu za pročišćavanje otpadnih voda. Visine naknada određuju se na temelju zakonskih propisa, a količina otpadne vode prema količini potrošene vode koja se utvrđuje očitavanjem vodomjera. Nadzor u primjeni ove odluke obavljaju nadležna vodopravna i sanitarna inspekcija te inspekcija za zaštitu okoliša kao i komunalno redarstvo, svaki u okviru svoje nadležnosti.

Prema *Zakonu o održivom gospodarenju otpada* [22] otpad je svaka tvar ili predmet koji posjednik odbacuje, namjerava ili mora odbaciti. Otpadom se smatra i svaki predmet i tvar čije su prikupljanje, prijevoz i obrada nužni u svrhu zaštite javnog interesa. U Registru onečišćenja okoliša (ROO) podaci o otpadu se prijavljuju prema vrstama otpada određenih *Uredbom o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada* [23]. Popis postupaka uporabe i zbrinjavanja otpada sadržan je u Dodatku I i Dodatku II *Zakona o održivom gospodarenju otpadom* [22] i Izvješće o podacima iz Registra onečišćenja okoliša za 2013. godinu [20].

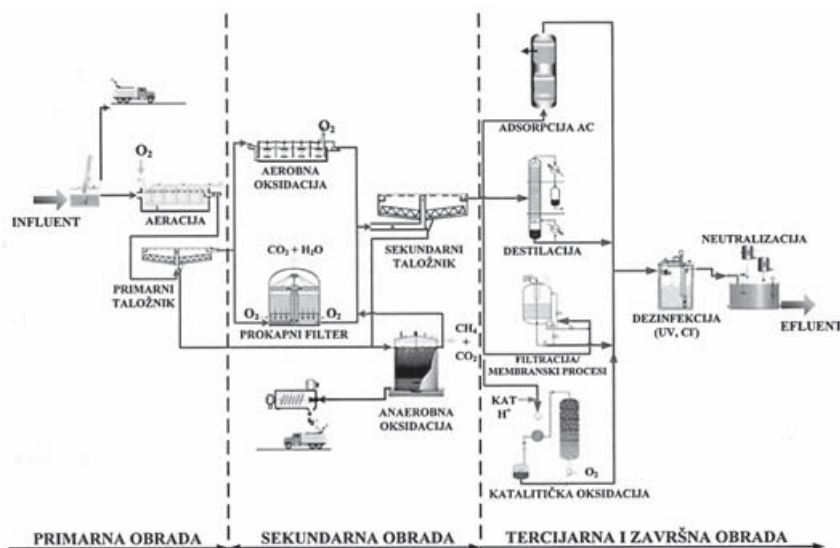
3. Pročišćavanje otpadnih voda

Iako se u gradskim postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda može obrađivati otpadna voda naselja i industrije, većina industrijskih otpadnih voda, prije dolaska do zajedničkog postrojenja, prethodno se pročišćava. Industrijske otpadne vode predstavljaju posebnu opasnost za okoliš, budući da nerijetko sadrže štetne i toksične tvari organskog i anorganskog podrijetla koje imaju izrazito negativan utjecaj na prijarnike takvih otpadnih voda. Osim što prilikom razgradnje troše kisik iz vode, zagađivala organskog podrijetla mogu uzrokovati i akutno trovanje živih organizama, što ima za posljedicu narušavanje osjetljive ravnoteže ekosustava.

Primarni, sekundarni i tercijarni postupci za obradu industrijskih otpadnih voda su shematski prikazani na sl.1.

Obrada otpadnih voda predstavlja postupak djelomičnog smanjenja količina onečišćujućih tvari do propisanih vrijednosti odnosno uklanjanje istih u potpunosti. Razni postupci obrade otpadnih voda često se kombiniraju, ovisno o tehnologiji, sastavu otpadne vode koja ulazi u sustav obrade i zadanim izlaznim vrijednostima. Ispuštena otpadna voda se u najvećem broju prijavljenih slučajeva, 50,95 % pročišćava fizikalnim postupcima, dok se otpadne vode bez ikakve obrade ispuštaju u čak 26,79 % slučajeva, tab.3 [20].

Industrijski pogoni koji su priključeni na sustave javne odvodnje, u pravilu, imaju izgrađene uređaje za prethodno pročišćavanje otpadnih voda. Time se kakvoća industrijskih otpadnih voda svodi na razinu kakvoće komunalnih otpadnih voda. Prikupljene komunalne otpadne vode i dijelom pročišćene industrijske otpadne vode zatim se zajednički čiste na komunalnim uređajima. Industrija je u skladu s tehnološkim procesima razdijeljena u pet vrsta: prehrambena, drvna i proizvodnja celuloze i papira,



Sl.1 Shematski prikaz postupaka za obradu industrijskih otpadnih voda [24]

Tab.3 Načini prethodnog čišćenja ili pročišćavanja otpadnih voda prikazani na razini Republike Hrvatske [20]

Način prethodnog čišćenja ili pročišćavanja otpadnih voda	Ukupan broj prijava	Udio pojedinačnog načina (%)
Bez pročišćavanja	508	26,79
Fizikalnim postupcima	966	50,95
Kemijskim postupcima	33	1,74
Biološkim postupcima	103	5,43
Toplinsko rasterećenje	2	0,11
Kombiniranim postupcima (nedefinirano)	63	3,43
Kombinirano fizikalno-kemijskim postupcima	89	4,96
Kombinirano fizikalno-biološkim postupcima	93	4,91
Kombinirano kemijsko-biološkim postupcima	6	0,32
Kombinirano fizikalno-kemijsko-biološkim postupcima	31	1,64

metalopreradaivačka, tekstilna te kemijska i petrokemijska.

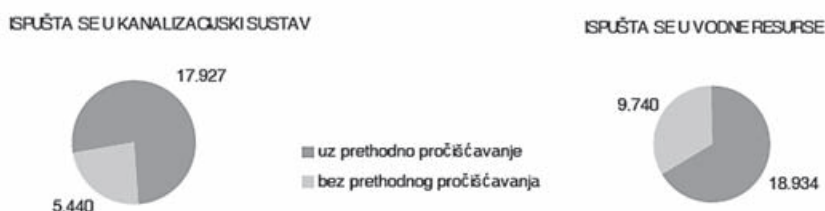
Prema količinama otpadne vode u Hrvatskoj, najveće količine otpada ju na kemijsku i petrokemijsku industriju. Temeljem rezultata provedenih analiza proizlazi da se više od 50 % količina otpadnih voda ispušta u prirodne prijamnike bez potrebnog stupnja pročišćavanja, sl.2 i tab.3 [1,20].

U izgradnju uređaja, radi zaštite voda, najviše se ulagalo u turističkim područjima primorsko-istarskih slivova, i to u Istri i Kvarnerskom zaljevu. Od 28 % količine otpadnih voda od stanovništva koja se čisti u Hrvatskoj, 43 % se čisti na prethodnom i I. stupnju, a 57 % otpadnih voda pročišćava se na II. stupnju pročišćavanja [1].

Pročišćavanje otpadnih voda tekstilne industrije se provodi mehaničkom, fizikalnom, fizikalno-kemijskom i biološkom obradom. Sam postupak se odabire na temelju učinkovitosti s obzirom na sve strože ekološke kriterije, stoga se najčešće primjenjuje kombinacija navedenih postupaka [25-28]. Kombinacijom ovih postupaka može se postići djelomično ili potpuno pročišćavanje vode, tj. smanjenje KPK, BPK₅, TOC i drugih pa-

rametara. Kod odabira metode treba voditi računa o vrsti onečišćenja/zagađenja, količini otpadne vode, o sugeriranoj ili zahtijevanoj kvaliteti vode, pazeći pri tome da ne dođe do dodatnog opterećenja vode razgradnim produktima kemikalija, te o ekonomskoj opravdanosti koja je najčešće ključni faktor u industrijskoj primjeni [26].

Obrada industrijskih otpadnih voda u najvećem broju slučajeva podrazumijeva kombinaciju primarnih, sekundarnih i tercijarnih postupaka obrade, sl.1. Primarnom se obradom, primjenom različitih fizikalnih i/ili kemijskih postupaka, uklanjaju čvrste suspendirane čestice što rezultira smanjenjem indeksa BPK₅ za najmanje 20 % i smanjenjem suspendiranih tvari (TSS) za najmanje 50 %. Sekundarna i tercijarna obrada usmjerene su prema smanjenju koncentracije otopljenih tvari organskog i anorganskog podrijetla. Sekundarna obrada obuhvaća primjenu različitih bioloških i kemijskih postupaka sa sekundarnim taloženjem, koji rezultira smanjenjem indeksa BPK₅ za 70-90 %, smanjenjem pokazatelja KPK za 75 %, te smanjenjem ukupnih suspendiranih tvari (TSS) za 90 %. To je osnovna razina koju treba osigurati kako bi se postiglo drastično smanjenje biorazgradljivog onečišćenja otpadnih voda, koje bi inače moglo značajno utjecati na ravnotežu kisika i ekosustava voda. Tercijarna obrada usmjerena na dodatno uklanjanje onečišćenja hranjivim tvarima (dušikom i/ili fosforom) iz otpadnih voda zahtijeva se u osjetljivim područjima i njihovim slivovima, kao što su područja koja pate od eutrofikacije [28].



Sl.2 Količine ispuštenih otpadnih voda uz i bez prethodnog pročišćavanja [1]

Tab.4 Značajke ispuštenih otpadnih voda (mjerene količine) pojedinih vrsta industrije [1]

Vrsta industrije	Ispušta se u kanalizacijski sustav			Ispušta se u vodne resurse			Količina ispuštene otpadne vode
	Uz prethodno pročišćavanje	Bez prethodnog pročišćavanja	Ukupno	Uz prethodno pročišćavanje	Bez prethodnog pročišćavanja	Ukupno	
	10 ³ m ³ /god.						
Prehrambena	7,720	3,898	11,618	2,887	684	3,571	15,189
Drvena, proizvodnja celuloze i papira	1,841	444	2,285	198	2,999	3,197	5,482
Metaloprerađivačka	1,540	62	1,602	2,155	2,438	4,593	6,195
Tekstilna	1,265	48	1,313	103	672	775	2,088
Kemijska i petrokemijska	4,191	520	4,711	11,755	2,520	14,275	18,986
Ostale vrste	1,370	468	1,838	1,836	427	2,263	4,101
Ukupno	17,927	5,440	23,367	18,934	9,740	28,674	52,041

3.1. Fizikalni procesi pročišćavanja

Fizikalni procesi pročišćavanja otpadnih voda podrazumijevaju metode za uklanjanje grubih i plivajućih tvari iz otpadnih voda pomoću rešetki i sita raznih dimenzija. Uklanjanje plivajućih tvari podrazumijeva postavljnje grubih i finih rešetki i sita kako bi se uklonile najgrublje čestice iz otpadne vode. Postupak ujednačavanja važan je kako bi se poboljšala učinkovitost rada uređaja za pročišćavanje jer tijekom dana dolazi do velikih oscilacija u protoku otpadne vode. Miješanjem se ostvaruje bolji kontakt sadržaja s kemijskim tvarima koje se ciljano doziraju. Da bi se uklonile čvrste tvari iz otpadne vode taloženjem, najčešće se koriste gravitacijski taložnici. U pjeskolovima i mastolovima odvija se zajedničko taloženje pijeska i flotacija masti i ulja, koja zbog manje gustoće od vode, isplivaju na površinu. Tijekom filtracije, na sloj odgovarajućeg adsorbensa (najčešće aktivnog ugljena) vežu se otopljene i koloidne tvari [29].

3.2. Fizikalno-kemijski procesi pročišćavanja

U procesu **neutralizacije** doziranjem raznih kemikalija razgrađuje se ili ubrzava taloženje nepoželjnih tvari iz voda. Pri procesu neutralizacije potrebno je voditi računa o tome da nastaju i određeni produkti neutrali-

zacije, što se može očitovati u povećanju sadržaja soli u vodama ili pak nastajanju veće količine teško topljivih taloga, koje je također potrebno zbrinuti na kraju procesa.

Taloženjem se odvajaju suspendirane tvari iz vode, u gravitacijskim taložnicima. Vrlo često je potrebno utjecati na elektrokinetička svojstva koloidno suspendiranih tvari (koagulacija) radi ubrzanja taloženja. Talože se samo tvari teže od vode te one koje imaju dovoljno veliku dimenziju kako bi se pod utjecajem gravitacije sedimentirale na dno taložnika.

Koagulacija je fizikalno-kemijski proces prevođenja jednofaznog sustava (npr. otpadne vode) u pravi dvofazni sustav, destabilizacijom koloidnih čestica kemijskim sredstvima, izbijanjem površinskog naboja. Uglavnom se koriste anorganski koagulant na bazi željeza (FeCl_3 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) i aluminijska ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Poznati su i aluminijski polimeri – tzv. polialuminijski kloridi (PAC).

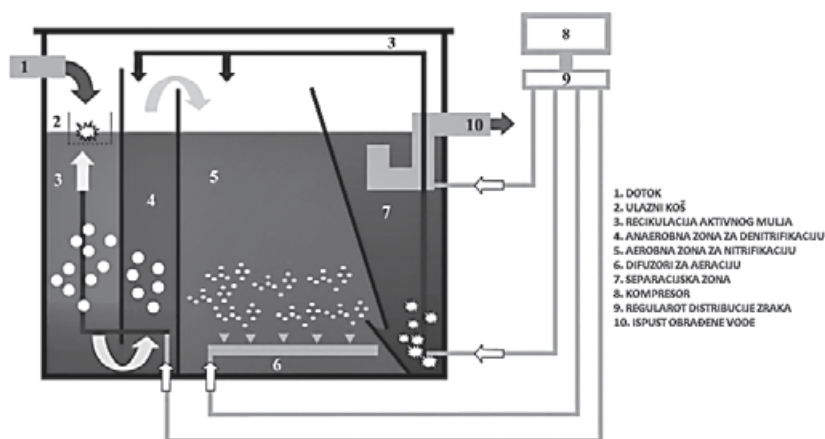
Flokulacija je proces oblikovanja velikih flokula od sitnih, destabiliziranih koloidnih čestica, stvaranjem povećanog gradijenta brzine u masi vode.

Osnovna primjena ovih procesa je u svrhu bistrenja otpadnih voda, uklanjanje algi iz efluenta oksidacijskih laguna, te u biološkoj obradi otpadnih voda (flokulacija mikroorganizama). Koagulacija i flokulacija su dva međusobno ovisna procesa.

Odvajanje suspendiranih tvari (čvrstih i kapljevitih) podizanjem uz pomoć finih mjehurića na površinu naziva se flotacija (metoda otplinjanja). Ovaj postupak separacije suspendiranih tvari je pogodan za tvari manje gustoće od gustoće vode, ali se flotacijom mogu odvojiti i tvari veće gustoće od vode. Flotacija se koristi kao alternativna metoda drugim separacijskim postupcima: sedimentaciji, separaciji centrifugama, filtraciji i slično, od kojih je često ili efikasnija ili ekonomski prihvatljivija. Nakon primarnog bistrenja (taloženja) slijedi **filtracija** preko različitih filtracijskih materijala: kvarcni pijesak, antracit, lava, aktivni ugljen, koks, bentonit i dr. **Kemijska oksidacija** se provodi uz primjenu jakih oksidacijskih sredstava kao što su O_3 , H_2O_2 , $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, klorini spojevi i dr. Kemijskom oksidacijom se djeluje **dezinfekcijski** na otpadnu vodu. Učinkovitost joj ovisi o količini suspendiranih tvari, količini i vrsti upotrijebljenog sredstva, vremenu kontakta, stupnju miješanja i hidrodinamičkim karakteristikama reaktora. Danas se koriste metode kloriranja, ozoniranja, UV-dezinfekcije i kloriranje (NaOCl , $\text{Ca}(\text{OCl})_2$) [30].

3.3. Biološka obrada

Fizikalnim pročišćavanjem uklanja se manji dio onečišćenja (krupni otpad, brzo taložive krutine, ulja, masti), dok veći dio onečišćenja ostaje u



Sl.3 Shematski prikaz biološkog pročišćavanja otpadnih voda [34]

otpadnim vodama (organske i anorganske krutine u otopljenom ili koloidnom stanju, hranjive soli, pesticidi, deterdženti, otrovne i radioaktivne tvari) koje se onda uklanjaju biološkim ili fizikalno-kemijskim pročišćavanjem.

Biološko pročišćavanje uvijek je sekundarna obrada, dakle uvijek joj prethodi mehanička i eventualno kemijska obrada. U suštini, biološka obrada je oponašanje procesa samo pročišćavanja koji savršeno funkcioniraju u prirodi. Obuhvaća razgradnju organskih otpadnih tvari pomoću mikroorganizama i njihovo prevođenje u biomasu ili plinove (sl.3).

Prednost biološke obrade je u dobrom razgrađivanju nečistoća (98 % pročišćavanje za razliku od konvencionalnih 75 %), te u izbjegavanju rada s kemijskim tvarima koje izazivaju neželjene efekte ili su opasne za zbrinjavanje i odlaganje. Kod biološke obrade nema značajnog nakupljanja štetnih iona i spojeva u otpadnoj vodi. Nedostatak ove metode su veliki zahtjevi za prostorom, potrebna velika postrojenja male mobilnosti kojima je teško rukovati [31-33].

Mikroorganizmi mogu razgraditi gotovo sve organske tvari koje im služe kao hrana za rast i razmnožavanje. Za život zahtijevaju određene uvjete kao što su temperatura, pH, hranjive tvari: dušik, fosfor, spojevi s ugljikom te kisik.

Svrstavaju se u tri skupine:

- aerobne - trebaju kisik za život i razvoj,
- anaerobne - žive bez prisustva kisika,
- fakultativne mogu živjeti u različitim uvjetima, s kisikom ili bez kisika.

Da se ubrza proces razgradnje organskih tvari, potrebno je osigurati optimalne uvjete za život bakterija, posebno prisutnost dušika i fosfora [28].

3.3.1. Aerobna razgradnja

Aerobna razgradnja je biokemijski proces u kojem se molekularni kisik iskorištava kao oksidans u redoks reakciji i pojavljuje se i reduciranom obliku u molekuli vode (krajnjem produktu metabolizma). U aerobnim procesima odvija se razgradnja organskih tvari pomoću aktivnog mulja uz prisutnost kisika. Populacija odabranih mikroorganizama miješa se vodom u suspenziju u aerobnim uvjetima (upuhivanjem zraka u vodu pomoću aeratora ili jako miješanje vode i zraka - bioeracijski proces). Bakterije razgrađuju organske spojeve, a zatim se odvede u taložnik, gdje se istaloži čvrsta faza koja se zatim uklanja. Dio istaloženog mulja se baca kao otpad, a drugi se vraća u proces, kako bi se zadržala potrebna koncentracija aerobnih mikroorganizama. Produkti oksidacije su: CO_2 , nitrati, sulfati i fosfati. Ovim postupkom se uklanjaju biorazgradljivi

spojevi, ali i čvrste suspendirane čestice koje se apsorbiraju unutar flokula aktivnog mulja [35]. U aerobne procese ubraja se i nitrifikacija - proces oksidacije amonijaka do nitrata, koji se odvija u dva stupnja. Prvi stupanj je oksidacija amonijaka do nitrita uz oslobađanje energije, a drugi stupanj oksidacija nitrita do nitrata.

Aerobni procesi ovise o ulaznoj koncentraciji otpadnih tvari, koncentraciji mikroorganizama, vremenu kontakta supstrata s mikroorganizmima i količini raspoloživog kisika. Proces se odvija tako što otpadna voda ulazi u biološki reaktor u kojemu su raspršeni mikroorganizmi, zatim se aeracijom dovodi zrak uz miješanje, čime se sprečava taloženje i postiže bolji kontakt između mikroorganizama i otpadne vode. Obradena otpadna voda odvodi se u naknadni taložnik u kojem se taloži aktivni mulj, te se dio aktivnog mulja vraća nazad u reaktor, a višak mulja se izdvaja i odvodi na daljnju obradu [36].

3.3.2. Anaerobna razgradnja

Biokemijski proces nema molekularnog kisika, već se u ulozu oksidansa iskorištavaju izvori anorganskih iona, kao što su nitriti, sulfiti ili karbonati koji se zatim reduciraju do odgovarajućih spojeva. Anaerobna razgradnja organskih otpadnih tvari u vodi odvija se u tri stupnja: hidroliza, kiselinska i metanska fermentacija. Hidrolitičke bakterije razgrađuju nerazgrađene organske tvari (uglji-kohidrate, masti, bjelančevine), a acetogene i acidogene bakterije pomažu u pretvorbi razgrađenih organskih tvari u alkohole, aldehide, CO_2 , H_2O i sl. Metanogene bakterije kao obvezni anaerobi koriste produkte iz kiselinskog vrenja i prevode ih u bioplin metan koji se može koristiti kao energent [36].

Kod pomanjkanja kisika a u prisutnosti razgradljivog ugljika, nitrat preuzima ulogu kisika kao oksidacijskog sredstva. Pri takvoj razgradnji biokemijskom reakcijom nastaje me-

tan i mineralizirana otpadna tvar amonijak i sumporovodik. Denitrifikacijske bakterije razgrađuju nitrat do elementarnog dušika.

Oba postupka razgradnje pospješuju enzimi koje izlučuju mikroorganizmi. Enzimi su biološki katalizatori koji se transformiraju i regeneriraju u procesu biološke razgradnje, a ovisno o količini kisika dovode do različitih produkata razgradnje [33].

3.3.3. Sustav biljnih laguna (Wetland sustav)

Radi se o ekonomičnoj obradi otpadnih voda uz značajno snižavanje koncentracije suspendiranih krutih čestica, KPK i BPK₅ vrijednosti, koncentracije dušika, fosfora te količin bakterija čak do 98 %. Jednostavnost primjene i modularnost, sustav biljnih laguna čini prikladnim za nerazvijena i ruralna područja, male industrijske pogone, farme, male zajednice, odnosno kućanstva i druga mjesta gdje drugi načini pročišćavanja nisu isplativi. Zahtijevaju malu količinu energije i radne snage. Pročišćavanje otpadnih voda pomoću sustava biljnih laguna, odnosno Wetland sustava (sl.4) alternativan je postupak i najčešće se koristi kao posljednja faza pročišćavanja. Nakon pada protoka otpadne vode, na izgrađenom području, dolazi do taloženja suspendiranih čestica koje se smještaju na dnu Wetland sustava i nastaje muljevito tlo koje sadržava velike količine mikroorganizama (kao u bazenu za taloženje). Ovim procesom talože se teški metali, fosfati, pesticidi koji služe kao hrana mikroorganizmima. Netopljivi i biljkama nedostupni fosfati vežu se sa česticama tla i dolazi do precipitacije iz sustava u obliku sedimenta.

Velike količine raspadajuće organske tvari (15-20 %) opskrbljuju sustav nabijenim česticama koje privlače i vežu na tlo organske molekule i tako ih uklanja iz vode. Neke od biljaka akumuliraju i teške metale iz otpadnih voda. Najčešće su to vodeni peršin, vodena leća, šaš, lopoč, a rogoz i trstika pomažu u raspadu organskih nečistoća [37].

Prednosti Wetland sustava su:

- pročišćavanje, recikliranje i ponovna upotreba na licu mjesta,
- financijska opravdanost (mala početna ulaganja, niska potrošnja energije, manja potreba za radnom snagom),
- mogućnost pripreme, konstrukcije i izgradnje ovisno o karakteristikama otpadnih voda,
- inovativni pristup pročišćavanju otpadnih voda tekstilne industrije,
- stupanj čišćenja zadovoljava granične vrijednosti za ispuštanje u okoliš,
- uklapa se u prirodu (sadnja gredica u raznim oblicima).

Nedostaci sustava su:

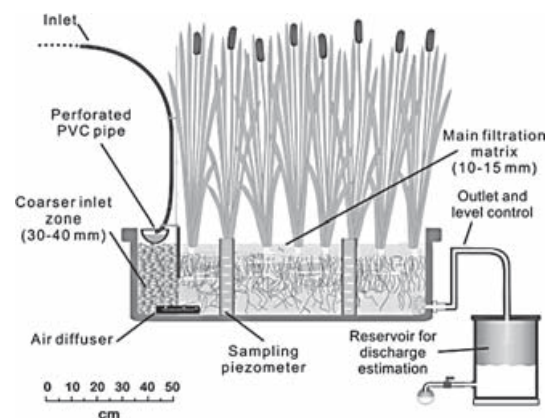
- obojenost vode i
- potrebna predobrada sirovina zbog eventualno prisutnog formaldehida.

tara - prokapsnika, a najčešće se provodi postupak s aktivnim muljem [39].

3.4. Kombinacija fizikalno-kemijskih i bioloških postupaka obrade

Danas su tehnologije obrade otpadnih voda visokorazvijene pa se, ako je potrebno, pročišćene otpadne vode mogu ponovno koristiti kao vode za piće. U većini slučajeva, tako visok stupanj obrade otpadnih voda nije potreban s gledišta zaštite voda, a niti opravdan s ekonomskog stanovišta jer zahtijeva velika investicijska i operativna ulaganja [27].

Fizikalno-kemijski i biološki postupci obrade na svoj način doprinose uklanjanju teško razgradljivih organskih spojeva. Klasični biološki procesi obrade daju dobre rezultate



Sl.4 Umjetni sustav biljnih laguna (Wetland sustav) [38]

Otpadne vode praonica imaju određena svojstva koja mogu u procesu biološke obrade stvarati probleme, a to su:

- sadržaj toksičnih tvari, npr. kroma iz bojila, klor i peroksid iz sredstava za dezinfekciju rublja,
- nedostatak hranjivih tvari (soli dušika i fosfora),
- povišen pH,
- nagle promjene u količini i sastavu,
- povišena temperatura.

Od bioloških postupaka za pročišćavanje otpadnih voda iz praonica je prihvatljivo pročišćavanje u aeriranim lagunama, pomoću bioloških fil-

ako se uzme u obzir niska cijena provedbe procesa i obrada velikih količina otpadne vode bilo da se radi o mješovitom ili specifičnom mikroorganizmu.

Ostale fizikalno-kemijske tehnike pročišćavanja daju također dobre rezultate, ali je cijena reagensa visoka i nastaju velike količine otpadnog mulja, kojega je također potrebno na odgovarajući način obraditi i zbrinuti. Stoga kombinacija metoda daje najbolje rezultate i kao takva bi se trebala koristiti za obradu voda industrijskih i obrtničkih praonica. U napredne procese pročišćavanja otpadne vode ubrajaju se mikrofiltraci-

ja, ultrafiltracija, nanofiltracija te reverzna osmoza. Prolazak molekula otapala uslijed razlike tlakova kroz polupropusnu membranu naziva se osmoza, a tlak osmotski. Kada je tlak koji djeluje na otopinu u obrnutom smjeru veći od osmotskog, otapalo se istiskuje iz otopine i to se naziva reverzna osmoza. Kombinacija procesa koagulacije, adsorpcije i membranske filtracije ima veliki potencijal za dobivanje pročišćene vode visoke kakvoće i omogućuje uštede na koagulantima i adsorbensima [39].

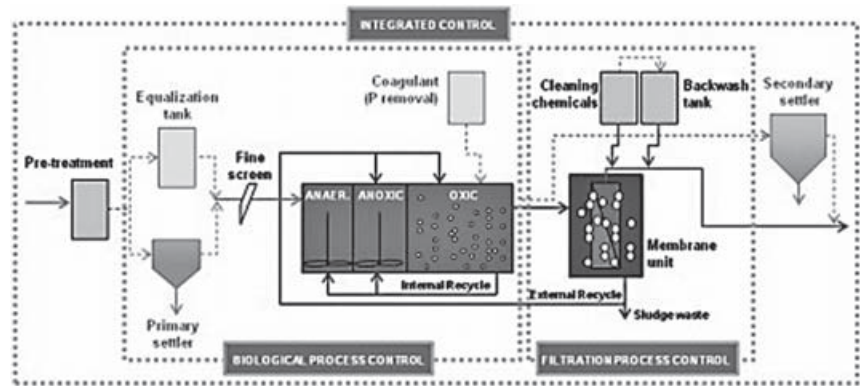
Tehnike koje imaju prednost u obradi otpadnih voda iz praonica sa svrhom dobivanja vode za ponovnu upotrebu su fizikalno-kemijske metode, npr. koagulacija, flokulacija, membranska filtracija, ozonizacija, oksidacija s Fentonovim reagensom, flotacija itd. [40].

3.4.1. Pročišćavanje otpadnih voda membranskim bioreaktorom

Kod membranskih procesa dolazi do izdvajanja tvari uz pomoć selektivne propusnosti membrane, a učinak odvajanja temelji se na razlikama u koncentracijama, tlakovima ili električnoj napetosti. Za izradu membrana koriste se različiti materijali kao što su celulozni acetati i poliamidi, a pore mogu varirati od 0,0001 μm do 100 μm .

Membranski bioreaktor (MBR) je tehnologija koja pripada skupini separacijskih procesa s biološkom obradom s aktivnim muljem (sl.5) [41,42]. Dobar je odabir za pročišćavanje otpadnih voda zbog (brojnih prednosti koje se odnose na stabilan proces nitrifikacije i denitrifikacije) velike koncentracije biomase aktivnog mulja u sustavu, te zadržavanja aktivnih spororastućih mikroorganizama i izvanstaničnih polimernih tvari. Kakvoća izlaznog toka iz membranskog bioreaktora je vrlo stabilna, što je posljedica stacioniranih uvjeta membranskog bioreaktora i održavanja visoke reaktivnosti mikroorganizama.

Uređaj se sastoji od jedinice za predobradu otpadne vode, biološkog dije-



Sl.5 Shematski prikaz pročišćavanja otpadnih voda membranskim bioreaktorom [42]

la uređaja te dijela uređaja za membransku filtraciju. Biološki dio sastoji se od egalizacijskog bazena za ujednačavanje sastava, primarnog taložnika, fine mehaničke rešetke, biološkog dijela bazena s odjeljcima za aerobnu, anaerobnu i anoksičnu provedbu procesa nitrifikacije i denitrifikacije. Dio za membransku filtraciju sastoji se od bazena s uronjenom membranom za izdvajanje pročišćene vode, te pomoćnih sustava za doziranje sredstava za čišćenje i ispiranje membrane i sustava za izdvajanje viška aktivnog mulja.

Prednosti MBR tehnologije su:

- kompaktnost i mala tlocrtna veličina uređaja,
- lako vođenje uređaja zbog visoke automatiziranosti (mala ovisnost o ljudskom faktoru),
- mala količina viška mulja i zato manji troškovi,
- kvaliteta vode je konstantna neovisno o sastavu ulazne vode,
- troškovi vođenja uređaja su manji nego kod klasičnih bioloških uređaja,
- potpuno uklanjanje bakterija,
- mogućnost uporabe obrađene vode za potrebe zalijevanja ili kao tehnološke vode,
- nema emisije neugodnih mirisa i buke,
- zbog relativno male veličine uređaja moguća brza izgradnja,
- reducira količinu kemikalija za uklanjanje fosfora,
- uklanja i sporo razgradljivi BPK₅,
- nema rizika gubitka biomase,

- fleksibilan na maksimalne i minimalne dotoke unutar zadanih parametara,
- nije potrebna stalna posada,
- MBR uređaji spadaju u tzv. zelenu tehnologiju (*green technology*),
- mogućnosti izvedbe uređaja podzemno ili nadzemno s arhitektonskim rješenjima radi uklapanja u okoliš,
- MBR uređaji omogućuju potpuno upravljanje otpadnim vodama (*Total Waste Water Management*).

Prema pokretačkoj sili koja uzrokuje protok očišćenog toka (permeata) kroz membranu razlikuju se više tipova membranskih separacijskih procesa. Prema gradijentu tlakova: mikrofiltracija (MF), ultrafiltracija (UF), nanofiltracija (NF), reverzna osmoza (RO), plinska membranska separacija (GS), parna membranska separacija (VP) i pervaporacija (PV). Osnovna razlika između postupaka je vrsta upotrijebljenih membrana (veličina pora) i tlak koji je potrebno primijeniti za razdvajanje komponenta u sustavu. Veličina pora se smanjuje od mikrofiltracije do reverzne osmoze, a radni tlak se povećava. Primjenom tlaka višeg od osmotskog na kapljevinu, komponente kapljevine se protiskuju kroz membranu. Najbrže prolazi otapalo, a otopljene tvari puno sporije ili uopće ne prolaze [42, 43].

Osnovna komponenta u membranskoj tehnologiji (upotreba UF i RO) je polupropusna membrana koja selektivno propušta tvari, jednu kom-

ponentu u većoj mjeri nego drugu zbog fizikalnih i/ili kemijskih svojstava membrane i komponenata koje se obrađuju. Stupanj pročišćenja ekonomičnost, kapacitet i namjena postrojenja ovise o kvaliteti i vrsti membrane te radnom tlaku, omogućene su uštede na koagulantima i adsorbensima [32].

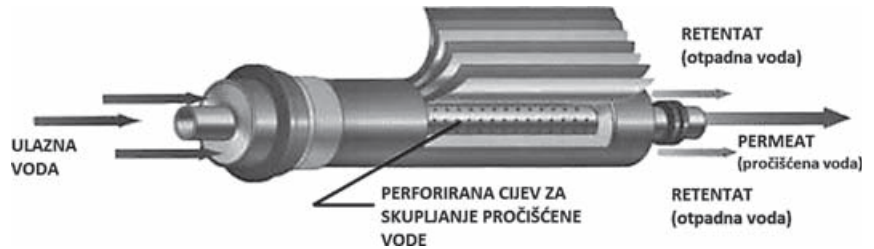
3.4.2. Reverzna osmoza (RO) kao univerzalna tehnika za separaciju

Prolazak molekula otapala kroz polupropusnu membranu naziva se osmoza, a tlak koji se tada povećava naziva se osmotski tlak. Kada je tlak koji djeluje na otopinu u obrnutom smjeru veći od osmotskog, otapalo se istiskuje iz otopine i to se naziva reverzna osmoza.

Karakteristično za ovaj proces je da se strujanje obavlja paralelno s membranom (sl.6), a ne okomito na nju [44]. Permeat, ili dobivena pročišćena voda, prolazi kroz membranske elemente, dok otopljene krute tvari, čestice i organske tvari ne mogu proći kroz membranu već se odvoje u odvod kao retentat ili otpadna voda. Voda se doprema višestupanjskom crpkom do spiralno namotanih membranskih elemenata gdje se prisustvo različitih soli uklanja izdvajanjem u dva toka, sl.6.

Proces se odvija izotermno, temperatura može biti sobna ili čak i niža. Pri odvijanju procesa nema nikakvih faznih promjena, proces je kontinuiran i sam ne troši nikakve pomoćne sirovine. Postiže se izvanredna selektivnost za pojedina otapala (voda) u odnosu na bilo koju otopljenu tvar (s malim brojem izuzetaka). Posljednjih godina cijena postrojenja i membrana se dosta brzo smanjuje, kvaliteta i trajnost postrojenja, a naročito membrana rastu. Izgradnja je modularna, pa je ekonomičnost procesa ista u širokim granicama, proširivanje postrojenja je jednostavno.

RO je započeta s osnovnom namjenom da se pomoću ovog procesa vrši desalinizacija morske i drugih slanih voda. U novije vrijeme upotreba



Sl. 6 Shematski prikaz procesa pročišćavanja vode reverznom osmozom – membrana u obliku spiralnog namotaja [44]

ovog procesa proširena je na separaciju niza organskih i anorganskih tvari iz vode, posebno za pročišćavanje otpadnih voda, na koncentriranje pojedinih tvari iz vodene otopine (lijekovi, proizvodi za osobnu njegu, voćni sokovi) i na razdvajanje pojedinih otopljenih tvari jednih od drugih.

Membranski separacijski procesi, posebno RO kao univerzalna tehnika za separaciju, funkcioniranje i koncentriranje organskih i anorganskih tvari, dobivaju sve veće značenje i nalaze široku primjenu u tehnologiji pročišćavanja voda. Nagloj ekspanziji procesa reverzne osmoze posebno su doprinijele sljedeće značajke:

- nova tehnologija omogućava da se RO uklanja iz vode i više od 99 % prisutnih soli,
- membranski elementi su molekularna sita koja stvaraju fizičku barijeru prolazu otopljenih soli, teških metala, klora, kamenca, virusa, bakterija, gljivica i dr., a da bi voda mogla proći kroz te fine otvore potrebno je primijeniti visoki tlak (veći od 10 bara), koji se postiže upotrebom višestupanjske crpke.

Zbog ovako izuzetno finog oblika filtracije neposredno prije ulaska sirove vode u sustav reverzne osmoze, prethodno je neophodno napraviti kvalitetnu predobradu. Predobrada je od velike važnosti za dugoročno učinkovit rad uređaja i stabilnost kvalitete proizvedene vode.

4. Primjer pročišćavanja otpadnih voda praonice rublja

Svjetska godišnja upotreba vode za proizvodnju tekstila ekvivalentna je

količini vode u dva Sredozemna mora, dok se za njegu tekstila potroši količina vode jednaka volumenu tri Sredozemna mora [45]. Načela održivog razvoja i poslovanja nalažu osiguranje što manjih gubitaka sirovina, pa tako i svježije vode koja se upotrebljava u industrijskim procesima [4].

Kućanstva, industrijske i obrtničke praonice su najveći potrošači deterdženata te se ovom području pridaje velika pažnja s obzirom na količinu, ekološki i ekonomski utjecaj. Industrijske praonice otpuštaju u otpadne vode milijune tona deterdženta, omekšivača i drugih pomoćnih sredstava, te je upravo zbog toga neophodna upotreba dobro biorazgradljivih komponenata [45].

Sastav i količina otpadnih voda industrijskih i obrtničkih praonica ovisi o vrsti tekstila koji se pere i stupnja zaprljanja, o načinu pranja i o vrsti korištenih sredstava. O vrsti i količini otpadne vode ovisi i odabir postupka za pročišćavanje koji će se primjenjivati, vodeći računa o ekonomskoj i ekološkoj isplativosti za svaki slučaj praonice posebno i o namjeni vode nakon pročišćavanja. Za to su potrebne investicije jer su to dugoročni zahvati čija je svrha očuvanje okoliša. Moguće je projektiranje takvih sustava kojima će se omogućiti recirkulacija pročišćene vode i veća kvaliteta pročišćene vode koja se ispušta u recipiente, što je cilj za kojim teže suvremene praonice.

Otpadne vode iz praonica rublja općenito imaju sljedeća obilježja:

- jaku varijaciju protoka odvođa u ovisnosti o svojstvima strojeva za pranje (trajanje ciklusa pranja, ispušta, količina upotrebene vode pri svakom pranju)

- veliku varijabilnosti koncentracije zagađujućih tvari u ovisnosti o načinu pranja (predpranje, pranje, ispiranje itd.),
- prisutnosti fibrila, vlakancica i čvrstih tijela malih dimenzija,
- vrijednosti pH od 9 do 11 i
- minimalnoj prisutnosti organskih i dušikovih spojeva.

Ispuštanje otpadnih voda iz praonica karakterizirano je jakim oscilacijama protoka, onečišćujućih tvari i pH vrijednostima, što negativno utječe na biološki proces pročišćavanja. Zbog toga se otpadna voda uvodi u jedinici za egalizaciju čime se smanjuje utjecaj tih varijacija na daljnji proces pročišćavanja.

U ovom dijelu se opisuje biološki proces koji se temelji na korištenju aktivnog mulja i zato se predviđa generiranje biomase, posebnog sastava, za uklanjanje tenzida iz deterdženata. Takva biomasa se generira postupno doziranjem bifiliziranih bakterija, odabranih za razgradnju supstrata s velikim količinama tenzida.

Otpadne vode praonica ispuštaju se u kanalizacijski sustav i usmjeravaju ka sustavu bazena za pročišćavanje. Pomoću crpke voda se doprema kroz rešetku na cilindrično rotirajuće sito kojim se uklanjaju čvrste tvari (konci i vlakana raznog porijekla) do 0,5 mm veličine. Otpadna voda se zatim dovodi do bazena za homogenizaciju, u kojem se pomoću difuzora upuhuje zrak kojim se voda istodobna miješa i obogaćuje kisikom. Bazen je izgrađen od armiranog betona, opremljen s potopljenom crpkom za ujednačavanje otpadnih homogeniziranih voda jednoličnim protokom, nakon čega se transportira do bazena za egalizaciju/izjednačavanje. Alkalne otpadne vode (pH 9-11), moraju se neutralizirati do vrijednosti pH 7,5-8,5. Kemikalije za neutralizaciju uvode se u sustav dozirnog crpkom koja se automatski uključuje kad pH mjerač utvrđuje odstupanje od zahtijevanih vrijednosti. Iz bazena za neutralizaciju vode se izljevaju prema bazenu za biološku oksidaciju pomoću aktivnog mulja.

Najprije se odvija proces razgradnje onečišćujućih tvari uz pomoć aerobnih mikroorganizama. Potreban kisik za aktiviranje biomase dodaje se upuhivanjem zraka difuzorima, ugrađenim na dnu bazena za biološku oksidaciju, koja dodatno stabilizira mulj. Suvišak proizvedenog aktivnog mulja može se zbrinjavati, bez opasnosti od ispuštanja neugodnih mirisa, te je moguće i odlaganje na gradska odlagališta otpada. Za pravilno funkcioniranje biološkog procesa potrebno je dozirati i optimalnu količinu hranjivih tvari tj. dušikovih i fosfornih spojeva tako da odnos hranjivih tvari i biomase bude u omjeru $BPK_5:N:P=100:5:1$. U tu svrhu se uglavnom koristi urea, a fosfata ima u suvišku. Međutim, koncentracija fosfornih spojeva je smanjena upotrebom suvremenih bezfosfatnih deterdženata koji se danas primjenjuju u svim praonicama rublja, pa i u kućanstvu. Voda se iz bazena za biološku obradu, gdje odstoji oko 24 h, dalje odvodi u manji bazen u obliku prevrnutе krunje piramide, radi olakšanog taloženja/sakupljanja i reciklaže istaloženog mulja. Dio aktivnog mulja se pomoću hidro crpke vraća u bazen za biološku obradu voda, a pročišćena voda, nakon dezinfekcije, odlazi u sustav kanalizacije [46].

5. Zaključna razmatranja

Tekstilna industrija je veliki potrošač vode unatoč racionalizaciji procesa koji se provode uz male omjere kupelji. Praonice i ostali industrijski onečišćivači prisiljeni su zakonskim mjerama i visokim troškovima zbog zagađivanja smanjiti količinu otpadnih voda. Zakonskim odredbama i propisima ograničena je upotreba štetnih (toksičnih i teško biorazgradljivih) sredstava. Time se osigurala potrebna kvalitete proizvoda, kvaliteta vode koja se ispušta u rijeke, jezera i mora, ali i zaštita na radu. Optimalno rješenje za pročišćavanje otpadnih voda praonica razmatra se posebno za svaki slučaj. Odabir po-

stupka ovisi o sastavu otpadne vode i o postojećim lokalnim uvjetima pojedine praonice. Najučinkovitije metode su kombinacija fizikalno-kemijskih procesa: neutralizacija, sedimentacija, flokulacija, flotacija i filtracija, te bioloških aerobnih i anaerobnih procesa za manje obrtničke praonice. Prednosti biološke obrade su relativno mala početna ulaganja, zahtijevaju manje opreme, troše manje energije, jednostavni su za održavanje, dobro razgrađuju nečistoće (do 98 %) te je izbjegnut rad s kemijskim tvarima koje izazivaju neželjene efekte ili su opasne za zbrinjavanje.

Za industrijske praonice, kojima je dnevni kapacitet potrošnje svježe vode velik, rastu investicijski i pogonski troškovi. Membranske tehnologije su alternativa konvencionalnim metodama, zbog niskih troškova rada te sposobnosti odstranjivanja organskih nečistoća i anorganskih soli i do 95-99 %, a osobito zbog dobivanja vode primjerene za ponovnu upotrebu [47]. Za uspostavljanje zatvorenog ciklusa vode u procesu pranja rublja, upotreba ultrafiltracije i reverzne osmoze je zanimljiva tehnologija. Kod pročišćavanja otpadnih voda bolničkih ili laboratorijskih praonica u kojima su prisutni patogeni mikroorganizmi potrebno je dodatno provesti kemijsku dezinfekciju ili UV radijaciju radi njihova uklanjanja.

S obzirom na ekonomsku situaciju i ekološki imperativ, biološki sustavi svakako imaju široku primjenu za obradu otpadnih voda u ruralnim područjima, te manjih industrija, kućanskih i komunalnih voda iz manjih naselja i farmi. Izgradnja takvih uređaja koji funkcioniraju bez velikog utroška energije, ali uz maksimalno iskorištavanje procesa koji se i inače zbivaju u prirodi, izvanredno se dobro uklapa u ideju održivog razvoja i općenito u ekološki pristup zaštiti voda koji u svijetu danas prima glavno značenje. Upravo zbog svega što je iznijeto, i Hrvatska bi se trebala dinamičnije uključiti u istraživanja mogućnosti izgradnje i isko-

rištavanja takvih uređaja. Njihovim postavljanjem na vlastita područja, koja odgovaraju zahtjevima uređaja (manje naseljena mjesta), ne narušava se kreiranje okoliša u estetskom smislu u već narušenom ekosustavu.

Autori se zahvaljuju Hrvatskoj zakladi za znanost na financiranju projekta 9967 Advanced textile materials by targeted surface modification, ADVANCETEX, za kojeg je ovaj rad tematski vezan.

Literatura:

- [1] Strategija upravljanja vodama, Hrvatske vode, Zagreb, 2009.
- [2] Zakon o vodama (NN 153/2009)
- [3] Zakon o financiranju vodnoga gospodarstva (NN 153/2009)
- [4] Zakon o zaštiti okoliša (NN 080/2013)
- [5] Zakon o zaštiti prirode (NN 080/2013)
- [6] Zakon o zaštiti od elementarnih nepogoda (NN 073/1997)
- [7] Zakon o izmjeni Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o komunalnom gospodarstvu (NN 129/2000)
- [8] Zakon o prostornom uređenju i gradnji (NN 076/2007)
- [9] Zakon o šumama (NN 140/2005)
- [10] Zakon o poljoprivrednom zemljištu (NN 039/2013)
- [11] Zakon o izvlaštenju i određivanju naknade (NN 074/2014)
- [12] Zakon o slatkovodnom ribarstvu (NN 106/2001)
- [13] Zakon o energiji (NN 120/2012)
- [14] Odluka o Popisu voda 1. reda (NN 079/2010)
- [15] Uredba o strateškoj procjeni utjecaja plana i programa na okoliš (NN 064/2008)
- [16] Pravilnik o deterdžentima (NN 01/2011)
- [17] Nacionalna strategija kemijske sigurnosti (NN 143/2008)
- [18] Zakon o predmetima opće uporabe (NN 039/2013)
- [19] Pravilnik o graničnim vrijednostima emisija otpadnih voda (NN 80/2013, 43/2014 i 27/2015)
- [20] Izvješće o podacima iz Registra onečišćenja okoliša za 2013. godinu, Zagreb, prosinac 2014., 1-269
- [21] HRN ISO 5667-10:2000 - Kakvoća vode - Uzorkovanje - 10. dio: Smjernice za uzorkovanje otpadnih voda (ISO 5667-10:1992)
- [22] Zakon o održivom gospodarenju otpadom (NN 094/2013)
- [23] Uredba o kategorijama, vrstama i klasifikaciji otpada s katalogom otpada i listom opasnog otpada (NN 050/2005), (NN 039/2009)
- [24] Maduna Valkaj K.: Priprava i karakterizacija heterogenih katalizatora za obradu otpadnih voda / doktorska disertacija, Zagreb : Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, 26.01. 2010.
- [25] Jurac Z., E. Felić, V. Jurac: Otpadne vode u pamučnoj industriji Duga Resa, Sigurnost 50, (2008) 2, 129-138
- [26] Parac-Osterman Đ. i sur.: Voda u oplemenjivanju tekstila - sirovina i otpad, *Tekstil* 52, (2003.) 2, 52-62
- [27] Jurac Z.: Otpadne vode, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac (2009)
- [28] <http://www.odvodnja.hr/> (pristupljeno dana 15.06.2015.)
- [29] Brnada I. i sur.: EU i zaštita okoliša: Upravljanje vodama na lokalnoj razini, Regionalni centar zaštite okoliša za Srednju i Istočnu Europu, Zagreb, 2010. 1-78
- [30] Tušar B.: Pročišćavanje otpadnih voda, Kigen d.o.o., Zagreb, 2009. str.51-69, 73-121
- [31] Roš M., M. Simonić i S. Šostar Turk: Priprava in čišćenje vod, 2005.
- [32] Petrinić I., S. Šostar Turk, M. Simonić: Pročišćavanje otpadnih voda u praonicama rublja pomoću aktivnog ugljena, *Tekstil* 51 (10) 463-469 (2002.)
- [33] Petrinić I., S. Šostar Turk, M. Simonić: Upotreba naprednih tehnologija za pročišćavanje otpadnih voda u praonicama rublja, *Tekstil* 52 (2003.) 9, 455-462
- [34] Bokić Lj., I. Rezić; Mikrobiološko pročišćavanje otpadnih voda tekstilne industrije, *Tekstil* 52 (2003) 12, 503-511
- [35] <http://www.biotok.hr/tehnologija.html> (pristupljeno dana 15.02. 2015.)
- [36] Kadel R.H., S.D. Wallace: Treatment Wetlands, Taylor&Francis Group, ISBN 978-1-56670-526-4, New Youk, (2009)
- [37] Mioč M.: Završni rad, Interdisciplinarni sveučilišni postdiplomski studij, Zagreb 2008.
- [38] Gabriel Maltais-Landrya et al, Nitrogen transformations and retention in planted and artificially aerated constructed wetlands, *Water Research* 43 (2009) 2, 535-545
- [39] Parac-Osterman Đ. et al.: Use of Wetland for Dye-house Waste Waters Purifying Purposes; *Asian Journal of Water, Environment and Pollution* (0972-9860) 4 (2007) 1, 101-106
- [40] Petrinić I. i sur.: Obrada otpadnih voda tekstilne industrije membranskim bioreaktorom i ponovna upotreba pročišćene vode, *Tekstil* 58 (2009.) 1-2, 20-30
- [41] M. Marcucci et al.: Experimental Campaigns on Textile Wastewater for Reuse by Means of Different Membrane Processes, *Desalination* 149 (2002) 137-143
- [42] Ferrero G. et al.: Automatic control systems for submerged membrane bioreactors: A state-of-the-art, *Water Research*, 46 (2012) 11, 3421-3433
- [43] Mulder M.: Basic principles of membrane technology, 2nd Edition, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands (2000) ISBN: 0-7923-4247
- [44] Šostar Turk S., I. Petrinić, M. Simonić: Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration, *Resources, Conservation and Recycling* 44 (2005) 2, 185-196
- [45] Soljačić I., T. Pušić: *Tekstil i ekologija, Zbornik radova 4. međunarodno znanstveno-stručno savjetovanje Tekstilna znanost i gospodarstvo* (2011) 3-12
- [46] Elaborat rješavanja pročišćavanja otpadne vode praonice rublja u Hrvatskoj
- [47] Petrinić I., C. Hélix-Nielsen: Nove membranske tehnologije za obradu tekstilnih otpadnih voda i njihovu ponovnu uporabu, *Tekstil* 63 (2014) 7-8, 243-250

SUMMARY

The problem of waste disposal and waste water treatment – legislation

K. Višić, B. Vojnović, T. Pušić

The scope of a paper is national legislation, regulations and ordinances related to waste disposal and waste water treatment, primary focused on environmental, human-ecological and technological issues. Final part of a paper is dedicated to example of good practice in the purification of waste water from Croatian laundry.

Key words: industry waste water, textil, laundry, water purification, legislation
*University of Zagreb, Faculty of Textile Technology
Zagreb, Croatia
e-mail: ksenija.visic@gmail.com*

Received January 14, 2015

Die Problematik von Abfallentsorgung und Abwasseraufbereitung – Gesetzgebung

Die Arbeit beschäftigt sich mit nationaler Gesetzgebung, Bestimmungen und Verordnungen, die mit Abfallentsorgung und Abwasseraufbereitung verbunden sind. Sie umfassen auch ökologische, humanökologische und technologische Aspekte. Der letzte Teil der Arbeit beschreibt ein Beispiel für gute Praxis in der Abwasserreinigung einer Wäscherei in Kroatien.